

Bepaling van het

ma^xi^mu^m

van de gemeten
golfhoogte H_m0
tijdens storm

GWA0 - 93.113x



Aan
projectgroep HYDRA,
belangstellenden

Van
A.P. Roskam 070-3744658

Datum
14 april 1993

Onderwerp
Bepaling van het maximum
van de gemeten golfhoogte
Hm0 tijdens storm

Doorkiesnummer

Bijlage(n)
16

Document nr.
GWA0-93.113x

1 Inleiding

Extreme waarde statistiek is in het algemeen gebaseerd op de kans van optreden van extreme gebeurtenissen, zogenaamde 'events'. Voor golven is zo'n gebeurtenis het optreden van grote golfhoogten tijdens storm. De extreme gebeurtenis is dan het maximum van het verloop van de golfhoogte tijdens die storm. Analyse van de maxima in het verleden kan leiden tot een verwachtingswaarde voor het maximum van een gebeurtenis in een komend tijdvak.

Voor golven wordt de extreme waarde statistiek gebouwd op maximale waarden van het verloop van de golfhoogte Hm0 tijdens storm. Dit verloop kan bepaald zijn uit metingen of uit model simulaties. Het is uiteraard van cruciaal belang dat deze extremen goed worden geschat en dat er een goed inzicht is in de nauwkeurigheid van die schatting.



In dit document worden enkele aspecten onderzocht van de schatting van de maxima van de golfhoogte H_m0 uit metingen. Met name :

- de nauwkeurigheid van de gemeten golfhoogte H_m0
- de (on)zuiverheid van de hoogste waarde uit een uurlijkse of 3-uurlijkse meetreeks als schatter van de maximale golfhoogte
- vergelijkbaarheid van maxima van meetreeksen met die van modelreeksen (bijvoorbeeld NESS of SNSG)
- de duur, waarover de golfhoogte min of meer stationair is tijdens het maximum van een storm

Uitgangspunt hierbij is dat het golfsysteem in de nabijheid van de top (naar tijd of plaats) slechts langzaam verandert. Gedurende enige uren voor en na de maximale golfhoogte zal de golfhoogte slechts weinig veranderen, zal er dus sprake zijn van een stationaire situatie.

Voor dit onderzoek zijn een aantal stormen geselecteerd, waarbij meetreeksen van goede kwaliteit beschikbaar waren van een aantal stations. Daarbij ging de voorkeur uit naar meetstations met dubbele sensoren (wavec-golfrichtingsboei + waverider of stappenbaak). Van deze stormen werd het werkelijke verloop van de golfhoogte H_m0 zo goed mogelijk geschat en hiermee werden bovengenoemde aspecten onderzocht.

2 Geselecteerde stormperiodes

Er zijn uit de meetreeksen van 5 meetstations (SON, K13, YM6, MPN en EUR) 5 stormen geselecteerd uit de periode waarin meestal uurlijkse reeksen van twee sensoren aanwezig waren. De selectie criteria waren :

- geen of kleine hiaten
- grote maximale golfhoogten
- verschil in maximale golfhoogte bij verschillende stations

De geselecteerde stormperiodes zijn :

1	-	25 jan 1990 06.00	t/m	27 jan 1990 16.00	35 reeksen
2	-	18 nov 1990 00.00	t/m	19 nov 1990 17.00	42 reeksen
3	-	11 dec 1990 21.00	t/m	13 dec 1990 20.00	48 reeksen
4	-	16 apr 1991 06.00	t/m	18 apr 1991 05.00	48 reeksen
5	-	1 okt 1991 03.00	t/m	2 okt 1991 20.00	42 reeksen



Ter indicatie volgen in tabel 1 enkele globale gegevens over maximale golfhoogte e.d. bij K13.

.....
Tabel 1

Enkele gegevens over de stormen 1 t/m 5,
meetstation K13

storm nr	max Hm0 m	Tm02 in sec	golf richt gr	water stand m MSL	wind snelh m/s	wind richt gr
...
1	7,0	8,0	-	+1,5	27	250
2	5,5	7,5	300	+1,3	20	280
3	8,0	9,5	345	+1,9	21	330
4	6,0	9,4	360	+1,4	15	350
5	5,5	7,5	310	+1,8	20	290

Van de stormen zijn uurlijkse reeksen geselecteerd van 5 (waveriders / baken) of 8 (wavec) parameters van de volgende meetstations/sensoren :
(WA = wavec ; WR = waverider ; WS = stappenbaak (wave staff))

SON - WA : storm 1 alleen eerste deel aanwezig, top van de storm niet/wel aanwezig ; storm 5 is van ELD - WA
K13 - WA : storm 1 ontbreekt
K13 - WR : storm 4 ontbreekt
YM6 - WA : storm 2 ontbreekt ; enkele kleine hiaten door interpolatie opgevuld
YM6 - WR : bij storm 2 ontbreken enkele waarden op cruciale tijdstippen (bij de top), met schattingen aangevuld ; bij storm 3 ook enkele aangevulde hiaten en enkele zeer grote verschillen tussen WA en WR
MPN - WA : storm 5 ontbreekt
MPN - WS : compleet
EUR - WA : compleet
EUR - WS : compleet

Tevens zijn uurlijkse reeksen van waterstand (14 kuststations), windsnelheid en -richting (7 stations) aanwezig.



3 Schatting van het verloop van de golfhoogte H_m0 bij de wavec-boei

Er is gekozen voor schatting van het verloop van de golfhoogte H_m0 bij de wavec. Dat houdt in dat golfhoogten van andere sensoren, indien aanwezig, moeten worden herleid naar die van wavec en dat andere parameters moeten worden herleid naar H_m0 .

In een vorig onderzoek is gekeken naar systematische verschillen in de golfhoogte tussen de verschillende sensoren bij de hier gebruikte meetstations. Daarbij zijn in enkele gevallen significante verschillen gevonden.

Uit het onderzoek resulteerden vergelijkingen voor de omrekening van de ene sensor naar de andere, geldend voor de gehele range van golfhoogten. Deze variëren enigszins per meetstation.

Voor dit onderzoek zijn omrekeningen gewenst, die geoptimaliseerd zijn voor grote golfhoogten. Deze zijn, na enig rekenwerk, geschat uit de gegevens van het vorige onderzoek en luiden :

voor K13 : $WA = WR$
voor YM6 : $WA = 1,02 * WR$
voor MPN : $WA = 1,04 * WS$
voor EUR : $WA = 0,98 * WS$

(WA = wavec ; WR = waverider ; WS = stappenbaak)

De golfhoogte H_m0 kan ook geschat worden uit de golfhoogte $H_{l/3}$. Deze parameters zijn natuurlijk in vrij sterke mate onderling afhankelijk, maar omdat $H_{l/3}$ in het tijdsdomein wordt geschat en H_m0 in het frequentie domein is er toch een zekere, kleine mate van onafhankelijkheid tussen beide parameters.

De meest nauwkeurige schatting voor de golfhoogte H_m0 kan nu worden bepaald als een gewogen gemiddelde van H_m0 en de uit $H_{l/3}$ geschatte H_m0 .

Normaliter zal deze toevoeging weinig bijdragen aan de totale schattingsnauwkeurigheid, maar met deze middeling wordt de invloed van eventueel aanwezige meet- of verwerkingsfouten enigszins gedempt.

Uit het vorige onderzoek zijn weer de gemiddelde relaties tussen H_m0 en $H_{l/3}$ bekend. Geoptimaliseerd voor grote golfhoogten zijn deze :

voor WA : $H_m0 = H_{l/3} * 1,075$
voor WR : $H_m0 = H_{l/3} * 1,053$
voor WS : $H_m0 = H_{l/3} * 1,026$

Indien simultane reeksen van twee sensoren aanwezig zijn, wordt voor elk tijdstip een gewogen gemiddelde (H_m0 -gg) bepaald uit vier schatters voor H_m0 volgens :



$$Hm0-gg = (3*Hm0-WA + 2*H1/3-WA^{\#} + 2*Hm0-WR^{\&} + H1/3-WR^{\#\&})/8$$

bij slechts één sensor (WA resp. WR/WS) :

$$Hm0-gg = (1,5*Hm0-WA + H1/3-WA^{\#})/2,5$$

$$Hm0-gg = (1,5*Hm0-WR^{\&} + H1/3-WR^{\#\&})/2,5$$

$\#$ = herleid van H1/3 naar Hm0

$\&$ = herleid van WR naar WA (of van WS naar WA)

Tenslotte wordt op deze signalen (de reeksen gewogen gemiddelden van Hm0) een gladstrijkfiter toegepast. Met dit filter moeten schattings-
onnauwkeurigheden verder worden verkleind door middelen in de tijd.
Daarbij moet het filter zodanig smal zijn dat de top niet of nauwelijks
wordt afgevlakt (in feite niet verder wordt afgevlakt dan naar beste
schatting de verandering van golfhoogte in werkelijkheid is geweest).
Het filter dat hiervoor het meest geschikt leek, was herhaald lopend
middelen over drie waarden. Er zijn enkele varianten geprobeerd. De
beste variant leek eenmaal lopend middelen over drie waarden en daarna
nogmaals over drie waarden, waarbij nu echter de middelste waarde
dubbel telde. Dit geeft iets minder afvlakking dan gewoon tweemaal
lopend middelen.

De resulterende gladgestreken reeksen worden beschouwd als de best
mogelijke benadering van het echte verloop van de significante golf-
hoogte gedurende de storm.

Het verloop van de golfhoogten bij deze vijf stormen is als tijdreeks
geplot. Bijlage 1 t/m 5 geeft per storm de golfhoogten bij de vijf
meetstations. Het nulpunt van de tijd is steeds bij het hoogste
maximum van de 5 weergegeven stations.

De weergegeven geschatte golfhoogte reeksen lijken een goede schatting
te geven van het werkelijke verloop van de golfhoogte Hm0.

Voor een aantal reeksen is het geschatte werkelijke verloop vergeleken
met de uurlijks gemeten golfhoogten. Daarmee wordt een indruk verkregen
van het effect van de voorgaande acties en van eventuele fouten. Bij
YM6-WR storm 3 (bijlage 10) zijn bijvoorbeeld duidelijke fouten aanwe-
zig.

Op elke plot worden als open punten de golfhoogte Hm0 van de wavec en
de herleide golfhoogte Hm0 van WR of WS gegeven. De gewogen gemiddelde
golfhoogte (Hm0-gg) wordt weergegeven met dichte punten en het geschat-
te verloop van de golfhoogte (Hm0-gg112) als lijn.

Deze plots zijn gegeven in bijlage 6 t/m 14.

Bijlage 15 geeft een tabel met hoogte en tijdstip van de maximale
golfhoogte uit het geschematiseerde verloop voor de 5 stormen bij de 5
meetstations, met als aanvullende gegevens : golfperiode Tm02, golf-
richting, windrichting, windsnelheid en waterstand.



4 De nauwkeurigheid van de gemeten golfhoogte H_m0

De golfhoogte H_m0 wordt gebruikt als karakteriserende parameter voor een zeeoppervlakte met golven van allerlei hoogte en in tamelijk willekeurige ordening. Omdat het karakter van de zeeoppervlakte betrekkelijk langzaam verandert, zowel naar plaats als tijd, mag de karakteriserende parameter voor de golfhoogte op een bepaalde plaats en tijd zowel uit een plaatsreeks als uit een tijdreeks worden geschat.

Bij de nu gebruikelijke golfmeetprocedure wordt de golfhoogte H_m0 geschat uit een tijdreeks met een duur van 20 minuten, die de verdeling van de zeeoppervlakte op één punt weergeeft.

Uit deze reeks worden diverse karakteriseringen geschat, zoals golfhoogteverdeling, golfperiodeverdeling en energiedichtheidsspektrum. Uit verdelingen en spektrum worden weer beschrijvende parameters geschat zoals de golfhoogten H_m0 en $H_{1/3}$, de golfperiodes T_{m01} en $T_{H1/3}$ etc.

Het is duidelijk dat al deze parameters schatters zijn en dus als alle schatters een beperkte nauwkeurigheid hebben. Ten eerste wordt er een beperkt gedeelte van de zeeoppervlakte bemeten (een steekproef uit de totale zeeoppervlakte) en ten tweede zijn er meet- en verwerkings-onnauwkeurigheden.

De schattingsnauwkeurigheid van de golfhoogte H_m0 uit een steekproef kan worden geschat. De onnauwkeurigheid door meet- en verwerkingsfouten zal in het algemeen klein zijn, want grote fouten hierin worden in het algemeen tijdens de verwerking herkend en dan worden de betreffende reeksen afgekeurd.

Er worden hier twee methoden gebruikt om de spreiding in H_m0 door steekproefonnauwkeurigheid te schatten.

De eerste is gebaseerd op de significante golfhoogte in het tijdsdomein. Onder bepaalde voorwaarden (bijvoorbeeld omtrent golfhoogteverdeling) geldt voor de relatieve spreiding van de schatter voor de significante golfhoogte :

$$\sigma_1 = 1 / 2\sqrt{n} \quad \text{zie [1]}$$

σ_1 = relatieve standaardafwijking van de kansverdeling voor de tijdsdomein schatter van de significante golfhoogte
 n = aantal golven in de golfhoogteverdeling waaruit de significante golfhoogte is geschat

Uit de duur van de golfmeting (20 minuten) en de gemiddelde golfperiode kan het aantal golven worden bepaald. Aangezien de golfperiode toeneemt



met de golfhoogte zal de nauwkeurigheid van de gemeten golfhoogte afnemen bij toenemende golfhoogte.

In figuur 1 is de afhankelijkheid van σ_1 van de golfhoogte weergegeven. De berekening is gebaseerd op gemiddelde registratieduur en gemiddelde golfperiode, afhankelijk van de golfhoogte.

De tweede methode is gebaseerd op de spektrale bepaling van de significante golfhoogte. Bij de berekening van het energiedichtheidsspektrum is voor elke frequentieband de schattingsnauwkeurigheid bekend. Deze wordt uitgedrukt in aantallen vrijheidsgraden (in feite χ^2 -verdeling met zoveel vrijheidsgraden). Dit aantal vrijheidsgraden kan worden gesommeerd onder correctie van de afhankelijkheid, zie [2].

In [2] worden gemiddelden gegeven van dit verwacht aantal vrijheidsgraden voor het gehele spektrum (en dus voor H_m0) en daarbij wordt geconstateerd dat dit aantal afhankelijk is van de golfhoogte. Dit laatste wordt daar echter niet gekwantificeerd en daarom is dat voor dit onderzoek gedaan, gebaseerd op dezelfde datasets, namelijk wavec-metingen van klimatologie stations in de zuidelijke Noordzee in de periode 1985-1989.

Bij kleine golfhoogten (ca. 0,5 m) bleek het aantal vrijheidsgraden 400-500 en bij grote golfhoogten (vanaf ca. 5 m) 100-150.

Uit het aantal vrijheidsgraden is de relatieve spreiding van de schatter van de significante golfhoogte af te leiden volgens :

$$\sigma_2 = 0,5 * \sqrt{(2/NdfE)} \quad \text{zie [2]}$$

σ_2 = relatieve standaardafwijking van de kansverdeling voor de spektrale schatter van de significante golfhoogte
NdfE = verwacht aantal vrijheidsgraden voor het gehele spektrum

Hiermee is het verloop van σ_2 over de golfhoogte geschat. Dit is, samen met dat van σ_1 , weergegeven in figuur 1.

Uit die figuur blijkt dat bij de golfhoogten H_m0 , die bij flinke stormen optreden, zo'n 4 tot 6 m, de standaardafwijking door steekproefonauwkeurigheid volgens de eerste schatting ca. 4,5 % bedraagt en volgens de tweede schatting ca. 5,8%

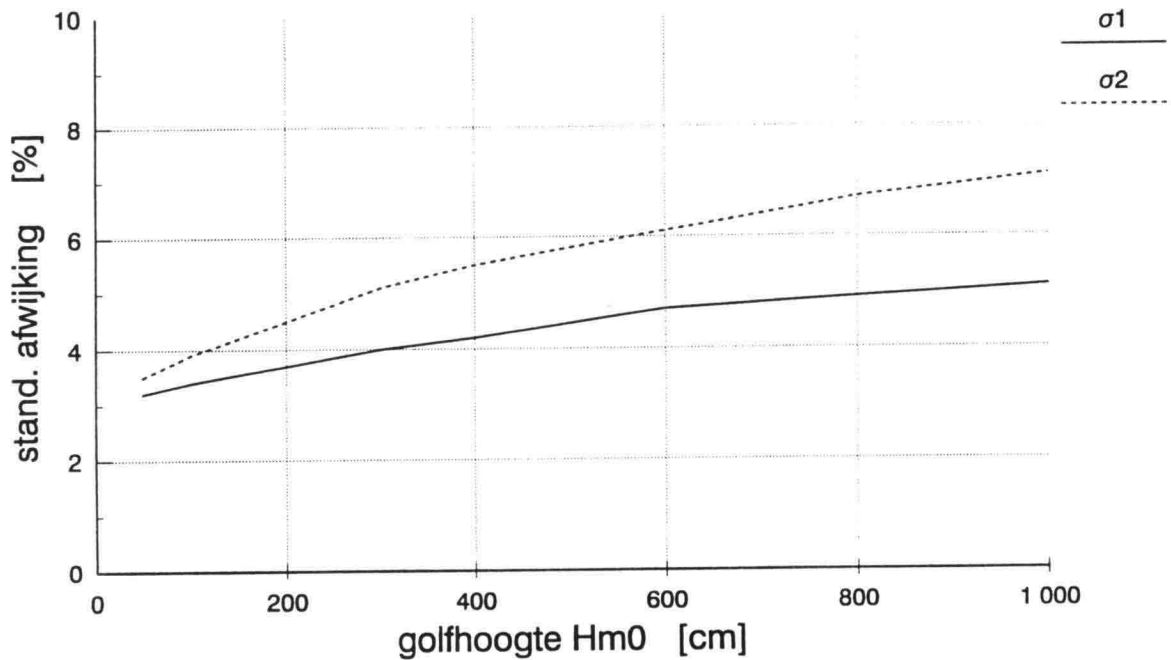
Voorlopig lijkt een standaardafwijking van 5% een goede schatting van de onnauwkeurigheid van de golfhoogte H_m0 tijdens storm.

Deze onnauwkeurigheid is ook geschat uit de, in het voorgaande beschreven, stormperiodes. Als wordt aangenomen dat het weergegeven geschatte verloop een goede benadering is van het werkelijke verloop, dan zijn de verschillen tussen de individuele metingen en het geschatte verloop de schattingsfouten.



.....
Figuur 1
De spreiding in de golfhoogte H_{m0} , afhankelijk van de golfhoogte.

gemiddelde spreiding in de golfhoogte H_{m0}
afhankelijk van de golfhoogte



Dit is dan wel de totale schattingsfout, bestaande uit steekproefon-nauwkeurigheid en onnauwkeurigheid in meting en verwerking. De meeton-nauwkeurigheid zelf van boeien en bakken is klein, ca. 1% of minder. In de verwerking zullen evenmin merkbare onnauwkeurigheden optreden. De grootste bron van fouten ligt in de datatransmissie en bijbehorende signaalbehandeling. Deze fouten worden echter in de verwerking gesigna-leerd en ofwel verbeterd ofwel afgekeurd, wat leidt tot afkeuring van een (deel)reeks.

Van elke storm en elk meetstation/sensor is van deze verschillen tussen meetwaarde en geschat werkelijk verloop, gemiddelde en standaard-afwijking bepaald. Bij elke storm zijn hiervoor ongeveer 10 waarden nabij de piek van de golfhoogten gebruikt.

In tabel 2 zijn de resultaten hiervan gegeven, samengevat als gemiddel-de per meetstation en als gemiddelde per storm. Gemiddeld blijkt de relatieve standaardafwijking via deze schattingsme-thode uit te komen op iets meer dan 5% bij een gemiddelde golfhoogte van ruim 5 meter.



.....

Tabel 2

Gemiddelde standaardafwijkingen, absoluut en relatief
Per meetstation en per storm

meet sta tion	per meetstation				storm nr	per storm			
	aan tal	gem stnd afw cm	gem golfh Hm0 cm	rel stnd afw %		aan tal	gem stnd afw cm	gem golfh Hm0 cm	rel stnd afw %
SON	45	31	576	5,5	1	63	32	598	5,3
K13	73	30	575	5,3	2	71	29	450	6,3
YM6	74	25	532	4,8	3	79	28	645	4,4
MPN	80	23	449	5,2	4	70	19	444	4,4
EUR	78	22	476	4,7	5	67	25	477	5,2
alle	350	26	522	5,1					

Deze spreiding wordt in hoofdzaak veroorzaakt door steekproefonnauwkeurigheid en in mindere mate door meetfouten en onnauwkeurigheden in de verwerking.

(Ter illustratie van dit laatste : als de typische, grote, weinig voorkomende meetfouten bij station YM6/storm 3 (bijlage 10) worden meegenomen bedraagt de spreiding bij die storm/station combinatie 7% ; anders 4%)

Dit komt goed overeen met de in het voorgaande gevonden waarden uit meer theoretische beschouwingen.

Conclusie : De schattingsonnauwkeurigheid van de golfhoogte Hm0 tijdens storm kan worden gekarakteriseerd door een relatieve standaardafwijking van 5%



5 Het schatten van de maximale golfhoogte H_{m0} tijdens storm

De nauwkeurigheid van het schatten van het maximum van een gebeurtenis door metingen met beperkte nauwkeurigheid en met een zeker tijdsinterval wordt hoofdzakelijk bepaald door twee invloeden :

- de kans op overschatting, doordat een te hoge schatting veel kans maakt het maximum te zijn
- de kans op onderschatting, doordat het echte maximum tussen twee meettijdstippen kan liggen

Als de meetfrequentie hoog is t.o.v. de duur van het maximum is de kans op overschatting groot en als de meetfrequentie laag is zal de kans op onderschatting groot zijn.

Ter verduidelijking een voorbeeld. Stel dat de duur van de periode, waarin de golfhoogte ongeveer maximaal is (H_{m0} niet kleiner dan ca. $0,98 * H_{m0-max}$), vier uur bedraagt.

Stel dat het meetinterval 20 minuten bedraagt. Er zijn dan in vier uur tijd twaalf schattingen van vrijwel dezelfde golfhoogte met een standaardafwijking van 5%. Het zal duidelijk zijn dat de kans zeer groot is ($\approx 99,98\%$) dat de hoogste van deze 12 schattingen groter is dan het werkelijke maximum.

De verwachtingswaarde zal ca. 1,08 maal het maximum zijn. Overschatting met meer dan 10% zal in die situatie niet zeldzaam zijn!

Als het meetinterval bij zo'n vier uur durend maximum niet 20 minuten zou zijn maar 12 uur, en als de golfhoogte kort voor en kort na die vier uur veel lager is, dan is de kans op een forse onderschatting ruim 60%. De kans dat het echte maximum wordt gemeten, wordt dan bepaald door de verhouding tussen meetinterval en duur van het maximum.

Met enkele aannamen (vorm en duur van het maximum van het verloop van de golfhoogte ; eigenschappen van de verdeling van de schattingen van de golfhoogten H_{m0} e.d.) zou de gemiddelde over- of onderschatting, afhankelijk van de meetfrequentie kunnen worden berekend.

Hier is echter gekozen voor schatting uit de metingen. Van de in bijlage 1 t/m 5 gegeven geschatte stormverlopen zijn uurlijkse metingen bekend. Er zijn bij 24 station/storm combinaties 40 reeksen uurlijkse metingen (dubbele sensoren). De grootste golfhoogte H_{m0} wordt beschouwd als schatting van het maximum van de storm. Dit levert 40 schattingen uit uurlijkse reeksen.

Uit deze uurlijkse metingen kunnen op twee manieren twee-uurlijkse



metingen worden afgeleid door de starttijd één uur te verschuiven (80 schattingen). Evenzo kunnen drie reeksen drie-uurlijkse metingen worden afgeleid (120 schattingen), vier reeksen vier-uurlijkse ... (160 schattingen) etc.

Van elk van deze reeksen is de hoogste waarde vergeleken met het echte maximum van de storm. De resultaten waren :

- 1-uurlijks : overschatting van maximale golfhoogte Hm0 gemiddeld : 6,5%
aantallen overschattingen/onderschattingen : 39/1
- 2-uurlijks : overschatting van maximale golfhoogte Hm0 gemiddeld : 3,8%
aantallen overschattingen/onderschattingen : 63/17
- 3-uurlijks : overschatting van maximale golfhoogte Hm0 gemiddeld : 2,0%
aantallen overschattingen/onderschattingen : 78/42
- 4-uurlijks : overschatting van maximale golfhoogte Hm0 gemiddeld : 0,6%
aantallen overschattingen/onderschattingen : 85/75

In de praktijk wordt er alleen met uurlijkse en 3-uurlijkse reeksen gewerkt. Van deze soorten reeksen geeft tabel 3 meer gedetailleerde resultaten van dit onderzoek.

In deze tabel wordt per storm de gemiddelde overschatting en de standaardafwijking daarvan gegeven, uit schattingen van maxima uit uurlijkse en 3-uurlijkse reeksen. Van deze gemiddelden en spreidingen worden zowel de absolute als de relatieve waarden gegeven, de laatste als percentage van het maximum.

.....

Tabel 3

Gemiddelde fout (overschatting) en standaardafwijking bij uurlijkse en 3-uurlijkse schatting van het maximum van de golfhoogte Hm0.

storm nr	gem max Hm0 cm	uurlijks				3-uurlijks			
		gem. cm	fout %	stand cm	afw %	gem. cm	fout %	stand cm	afw %
...
1	635	+49	7,7	23	3,6	+14	2,2	34	5,3
2	473	+31	6,6	14	3,0	+9	1,9	26	5,5
3	684	+44	6,4	19	2,8	+19	2,8	25	3,7
4	468	+22	4,8	13	2,8	+8	1,7	19	4,0
5	514	+33	6,4	24	4,7	+6	1,3	29	5,6
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----
alle	555	+36	6,4	19	3,4	+11	2,0	26	4,8



De hoogste waarde uit een reeks uurlijkse waarnemingen van de golfhoogte H_m0 als schatter voor het maximum van een stormperiode geeft dus gemiddeld een overschatting van 6,4% van H_m0 met een relatieve standaardafwijking van 3,4% van H_m0 .

Nemen we eenvoudigheidshalve aan dat de schattingsverdeling normaal is, dan betekent dit bij benadering :

1% kans op een overschatting van 14% of meer
15% kans op een overschatting van 10% of meer
66% kans op een overschatting van 5% of meer
3% kans op onderschatting

Voor de 3-uurlijkse reeksen bedraagt de gemiddelde overschatting 2,0% van H_m0 met een relatieve standaardafwijking van 4,8% van H_m0 . Onder dezelfde aanname komt dit bij benadering neer op :

1% kans op een overschatting van 13% of meer
10% kans op een overschatting van 8% of meer
66% kans op overschatting
34% kans op onderschatting
7% kans op een onderschatting van 5% of meer
1% kans op een onderschatting van 9% of meer

Conclusie : De hoogste waarde uit een reeks uurlijkse metingen van de golfhoogte is een onzuivere schatter van het werkelijke maximum van een storm. Er treedt vrijwel altijd flinke overschatting op.

Dezelfde schatter uit een 3-uurlijkse reeks levert gemiddeld veel minder overschatting maar is onnauwkeuriger.

6 Het schatten van de maximale golfhoogte ; vergelijkbaarheid met maxima van NESS/SNSG-stormen

Bij uurlijkse reeksen en vooral bij uurlijkse reeksen van meerdere sensoren bij hetzelfde meetstation kan de maximale golfhoogte het best geschat worden op dezelfde manier als hier gebruikt bij de stormen 1 t/m 5 (namelijk alle beschikbare soorten signaal herleiden naar eenzelfde soort ; door (gewogen) middelen samenvoegen tot één signaal ; gladstrijkfiter toepassen).



Als er maar één signaal is, zal bij uurlijkse reeksen alleen het toepassen van een gladstrijkfiter voldoende zijn om een redelijke nauwkeurigheid te verkrijgen.

Uit 3-uurlijkse metingen kan voorlopig het beste eenvoudig de hoogste waarde uit de reeks als schatter voor het maximum worden gebruikt, eventueel gecorrigeerd voor de gemiddelde overschatting (2%). Er zullen in het kader van de vergelijking met NESS- en SNSG-resultaten nog andere methoden worden bekeken, 'parabool-fit' e.d. , maar de verwachting is dat daar alleen duidelijke verbeteringen uit kunnen komen als er een vergaande schematisatie wordt gebruikt van de vorm van het verloop van de golfhoogte bij het maximum.

Hoe de maxima van de 3-uurlijkse NESS/SNSG-reeksen behandeld moeten worden, hangt af van de snelheid waarmee de golfhoogte nabij de piek in deze reeksen verandert. Is deze veranderingssnelheid goed, d.w.z. van dezelfde grootte als bij metingen, dan kunnen de 3-uurlijkse NESS/SNSG-reeksen op dezelfde manier worden gebruikt als 3-uurlijkse meetreeksen.

Het is echter niet ondenkbaar dat bij de modelreeksen de veranderingssnelheid kleiner is, bijvoorbeeld omdat de variaties in het windveld veel trager zijn dan in werkelijkheid. De windinvoer voor het model is namelijk 6-uurlijks.

Dit hoeft geen invloed te hebben want de grote ruimtelijke variatie heeft in principe dezelfde invloed heeft als variatie in de tijd. Anderzijds is het niet onmogelijk, dat er wel een zekere traagheid optreedt, waardoor mogelijk het maximum van de storm wordt afgevlakt. Dit kan onderzocht worden door van een flink aantal stormen uit NESS, SNSG en meetreeksen de veranderingssnelheid in de buurt van de maxima te vergelijken.

Het is niet onmogelijk dat een (flink) deel van de bias, die bij de vorige evaluatie van SNSG gevonden, te maken heeft met die eventuele traagheid.

Een goede indruk van de systematische verschillen kan het best worden verkregen door niet maar alleen simultane maxima te vergelijken maar ook gehele tijdreeksen, bijvoorbeeld in de vorm van overschrijdingsfrequenties.

Conclusie : Om goed inzicht te verkrijgen in de vergelijkbaarheid van meetresultaten met modelresultaten, is nog nader onderzoek nodig. Te denken valt aan :

- vergelijking van het verloop van een aantal significante stormen
- 'polynoom-fits' door de maxima van stormen
- vergelijking overschrijdingsfrequenties van simultane reeksen



7 Het verloop van de golfhoogte nabij het maximum van de storm

Om een indruk te krijgen van het gemiddeld verloop van de golfhoogte in de buurt van de maxima van stormen, zijn de 24 eerder gebruikte stormverlopen genormeerd, door de golfhoogten uit te drukken in procenten van de piek-golfhoogten. De tijden zijn genormeerd door het tijdstip van het maximum nul te stellen en de tijd in uren voor en na dit tijdstip uit te drukken.

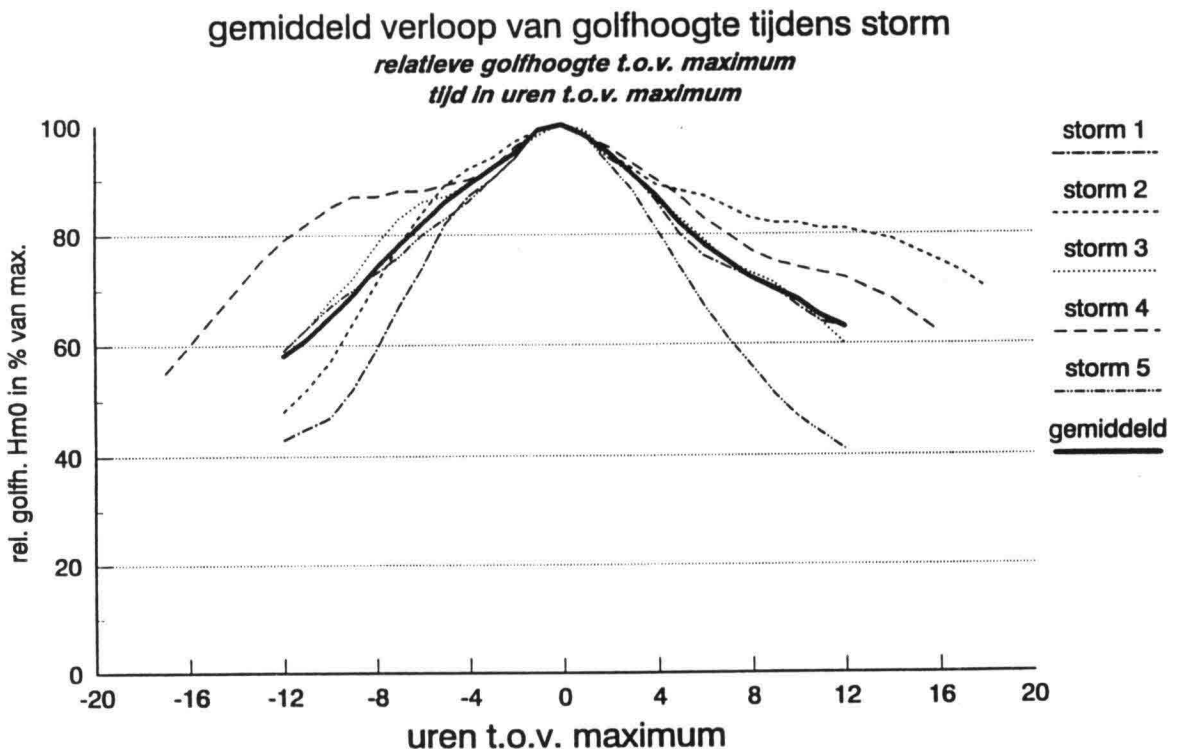
Voor elk van de vijf stormen zijn gemiddelden berekend over 5 meetstations en bovendien het gemiddelde over alles. Deze gemiddelden zijn weergegeven in figuur 2.

Uit die figuur blijken flinke verschillen in stormverloop. Storm 1 en 5 zijn korte stormen, waarbij de golfhoogte slechts ca. 24 uur boven 50% van de maximale golfhoogte is. Storm 1 neemt daarbij snel toe en langzamer af en storm 5 precies andersom.

Voorals storm 4 is langduriger. Deze blijft ca. 24 uur op een niveau van 75% van het maximum.

.....
Figuur 2

Gemiddeld verloop van de golfhoogte H_{m0} tijdens de stormen 1 t/m 5





In bijlage 16 is het over de 5 meetstations gemiddelde verloop van de stormen 4 en 5 nogmaals gegeven, maar nu met daarbij op elk tijdstip de minimale en de maximale waarde bij enig station. Deze lijnen vormen dus de omhullende.

Bij storm 5 is de band over het grootste deel van de storm erg smal. Deze storm heeft kennelijk over het gehele meetgebied een tamelijk uniform verloop gekend.

Bij storm 4 was dit duidelijk niet het geval. De band is hier erg breed. Deze storm was duidelijk geografisch afhankelijk. In het noorden (K13, SON) was het flinke storm, maar in het zuiden bleven de golfhoogten veel lager.

Ook het getijverloop kan van invloed zijn op de vorm van het stormverloop. Omdat de golfhoogten in het algemeen ten tijde van hoog water wat hoger zijn, ligt de maximale golfhoogte wat vaker dicht bij het hoogwatertijdstip.

Bij een vrij uniform, langzaam veranderend stormverloop over het gehele meetgebied wordt het tijdstip van maximale golfhoogte beïnvloed door het hoogwatertijdstip ter plaatse en deze liggen voor de verschillende meetstations vele uren uit elkaar.

De gemiddelde vorm wordt enigszins beïnvloed door het middelen over stations. Doordat de echte maximum bij het ene station aan het begin van het 'gebied van maximale golfhoogten' kan vallen en bij het andere station aan het eind wordt het gemiddelde iets te breed. Het zou beter zijn te normeren op het gebied in de omgeving van het maximum dan op alleen het maximum.

Voor dit louter illustratieve doel is normering op alleen het maximum voldoende nauwkeurig.

De resultaten van een meer kwantitatieve benadering zijn gegeven in tabel 4. Bij dit onderzoek is van elke storm is bepaald hoe lang de golfhoogte H_{m0} op of boven een aantal bepaalde niveaus bleef. Deze niveaus zijn resp. 98% , 95% en 90% van het maximum.

De resultaten, overschrijdingsduur in uren, zijn gemiddeld over respectievelijk de meetstations en de stormen en over alle combinaties. Bovendien zijn voor elk niveau de kortste en langste overschrijdingsduur over alle stormen gegeven.

Uit tabel 4 blijkt dat er flinke onderlinge verschillen zijn in de overschrijdingsduren. Storm 5 is ook hier de kortste, maar storm 1 is nu op 98% niveau de langste en op 90% niveau op één na de kortste. Storm 4 is ook hier de langste.

Bij de gemiddelden per station valt op dat de overschrijdingsduren bij de zuidelijke stations gemiddeld aanmerkelijk langer zijn.



.....
Tabel 4

Gemiddelde overschrijdingsduur in uren van enkele relatieve golfhoogteniveaus.

gemiddelde duur (uren) per storm				gemiddelde duur per station			
storm nr	rel. overschr. niveau			station	rel. overschr. niveau		
	98%	95%	90%		98%	95%	90%
...
1	3,1	4,6	6,8	SON	1,9	3,9	7,9
2	3,0	5,7	8,1	K13	2,1	3,7	6,2
3	2,2	4,0	7,8	YM6	3,2	6,4	9,8
4	2,8	6,2	10,3	MPN	2,9	5,3	8,5
5	2,1	3,6	6,2	EUR	2,8	4,6	6,9
-----	-----	-----	-----				
alle	2,6	4,8	7,9				
st.afw.	1,0	2,3	3,0				
-----	-----	-----	-----				
kortste	1,4	2,8	4,5				
langste	5,8	13,4	16,8				

Conclusie : Gedurende het maximum van een storm blijft de golfhoogte enkele uren op een niveau, dat maar weinig van het maximum verschilt. De duur kan echter van storm tot storm en van plaats tot plaats flink verschillen.

Deze conclusie kan overigens ook gebruikt worden om extreme overschrijdingskansen te schatten.

Neem bijvoorbeeld aan dat één overschrijding van een extreem niveau overeenkomt met een overschrijdingsduur van 2½ uur van dat niveau (of feitelijk van een iets (2%) lager niveau). De kans 'eens per jaar' kan dan eenvoudig worden uitgedrukt in een kans, die is bepaald door extrapolatie van de overschrijdingsverdeling van alle gemeten golfhoogten.

Bijvoorbeeld : eens per 100 jaar → 2,5 uur per 100 jaar → 0,0003%
 eens per 1000 jaar → 2,5 uur per 1000 jaar → 0,00003%
 eens per 10000 jaar → 2,5 uur per 10000 jaar → 0,000003%



De onnauwkeurigheid in de bepaling welke duur nu precies overeenkomt met één overschrijding weegt misschien op tegen de onnauwkeurigheden in de bepaling en de selectie van de maxima. Tenslotte wordt in het laatste geval maar een zeer beperkt deel van alle gemeten golfhoogten gebruikt om statistieken uit te bepalen.

Aanbeveling : Onderzoek tenminste voor de één-dimensionale extreme waarde verdelingen (marginalen) ook de mogelijkheid deze te schatten uit de overschrijdingsverdeling van alle golfhoogten.

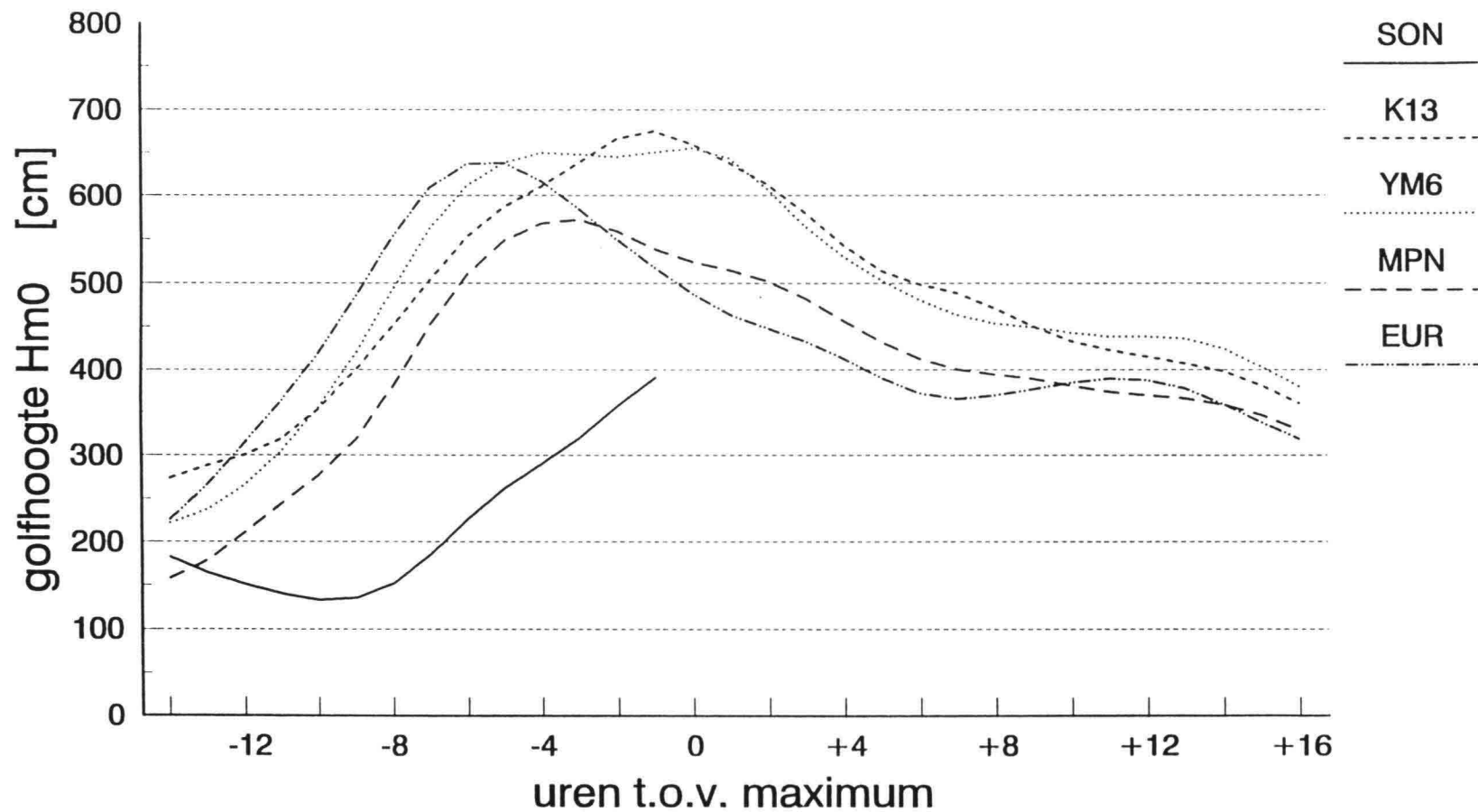
L I T E R A T U U R :

- 1 : "Statistische eigenschappen van stationaire Gaussische processen."
De Ingenieur ; jaargang 84, 12 juli 1972 ; ir. J.A. Battjes.
- 2 : "Eerste resultaten van golfrichtingsmetingen met de Wavec-boei,
periode 1985-1989."
Werkdocument GWA0-92.126x ; april 1992 ; A.P. Roskam.

Geschat verloop van golfhoogte Hm0 tijdens storm

Storm 1 : 25/26 januari 1990

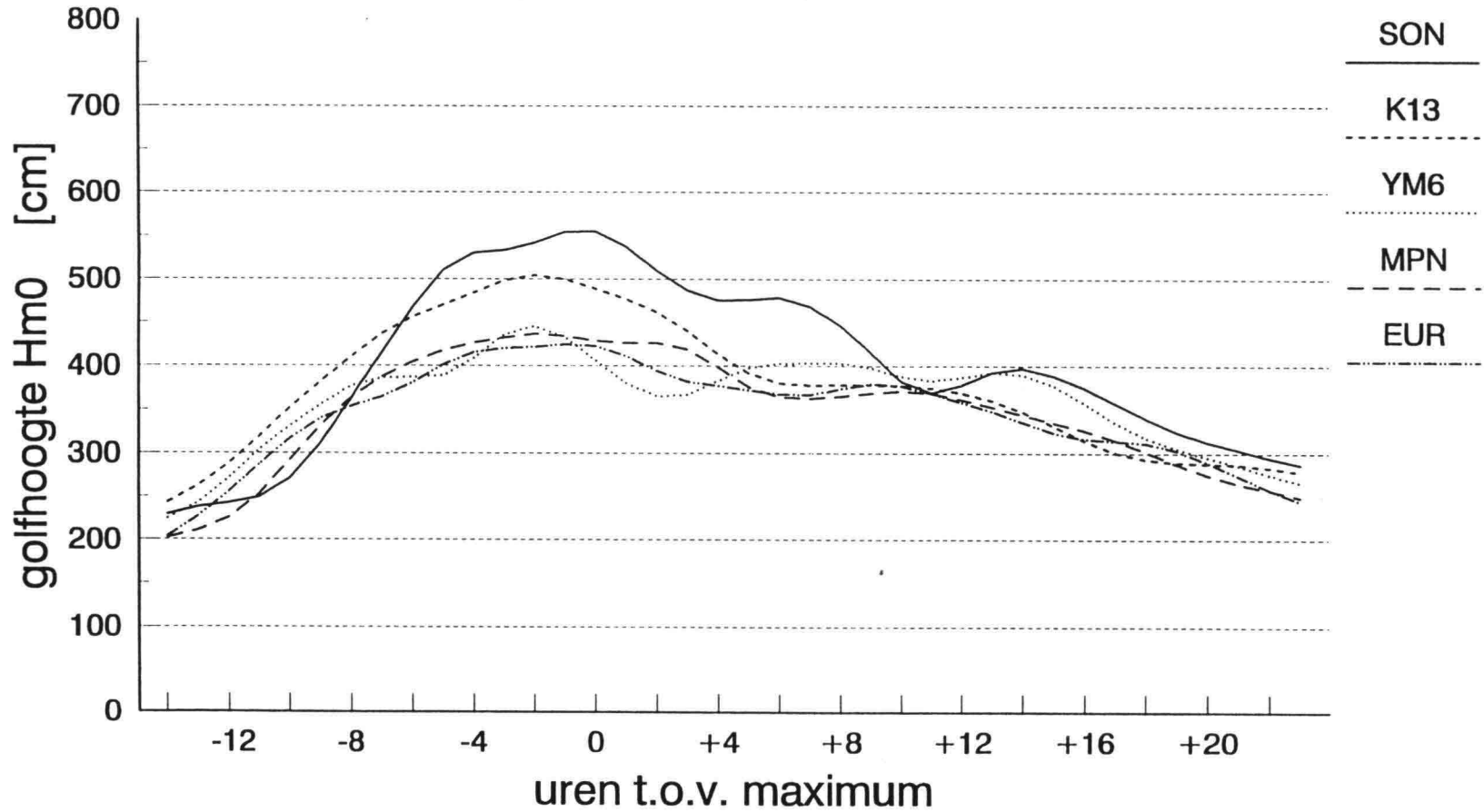
wind : WZW ; 27 m/s



Geschat verloop van golfhoogte Hm0 tijdens storm

Storm 2 : 18/19 november 1990

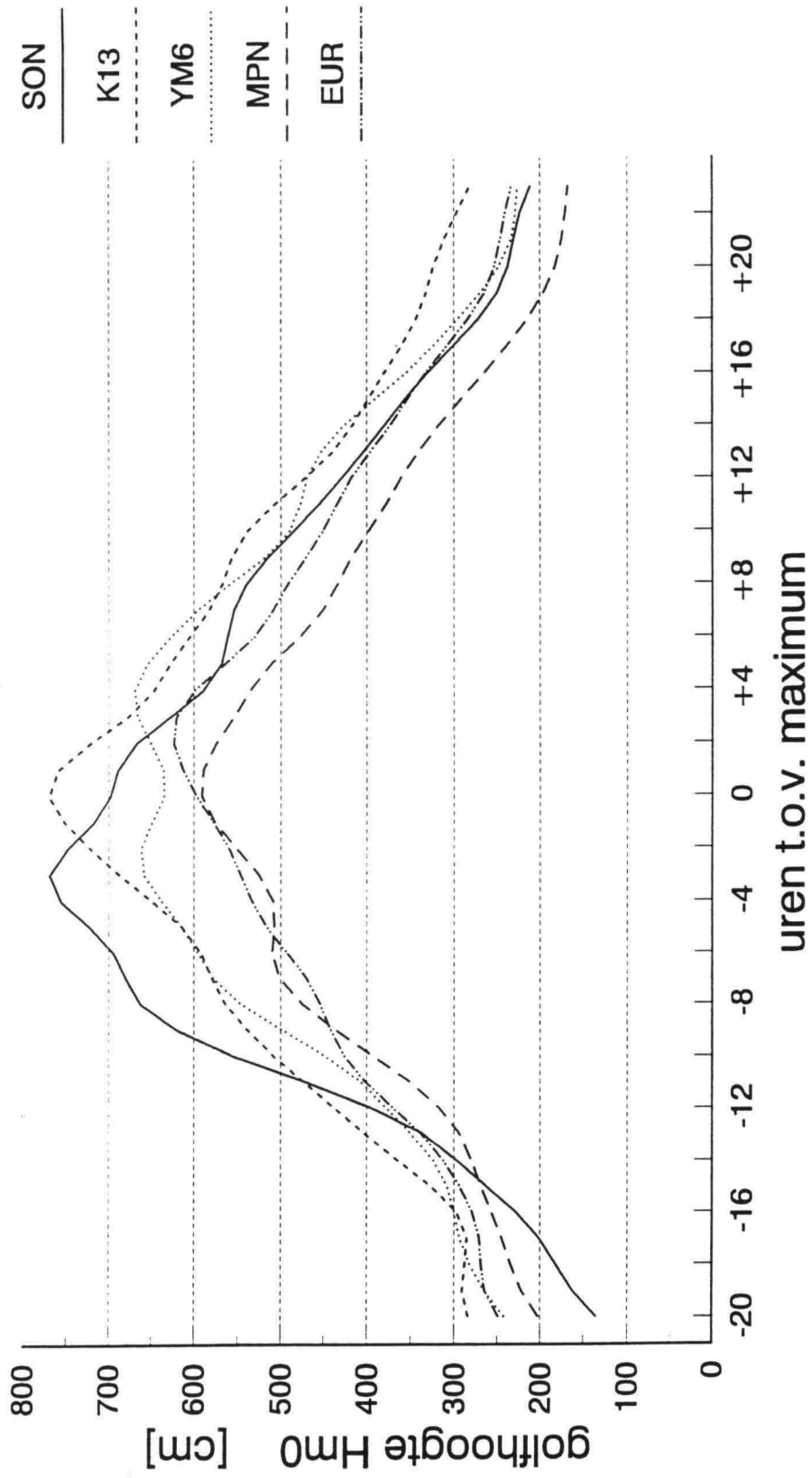
Wind : WNW ; 20 m/s



Geschat verloop van golfhoogte Hm0 tijdens storm

Storm 3 : 11/13 december 1990

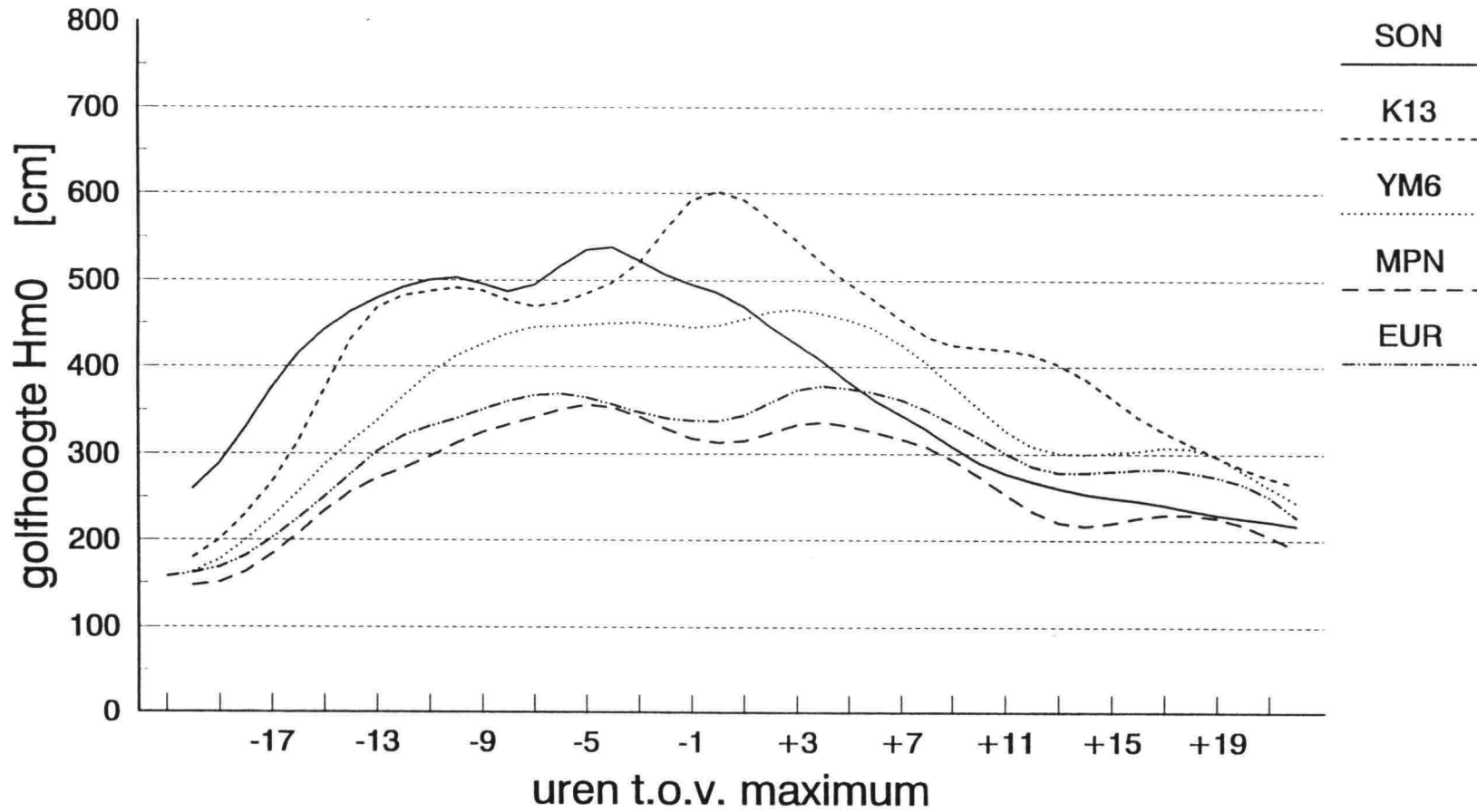
Wind : NNW ; 21 m/s



Geschat verloop van golfhoogte Hm0 tijdens storm

Storm 4 : 16/18 april 1991

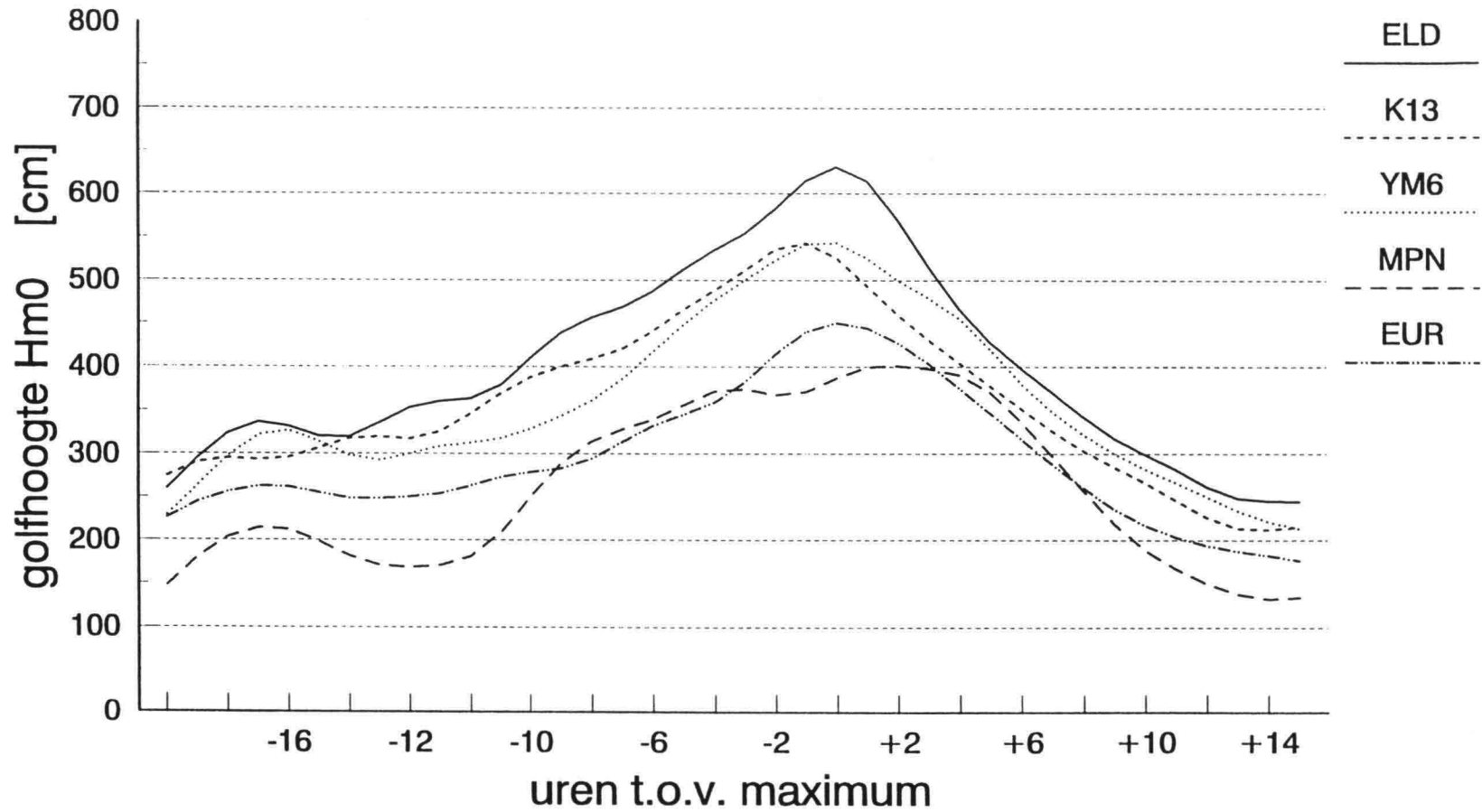
Wind : N ; 15 m/s



Geschat verloop van golfhoogte Hm0 tijdens storm

Storm 5 : 1/2 oktober 1991

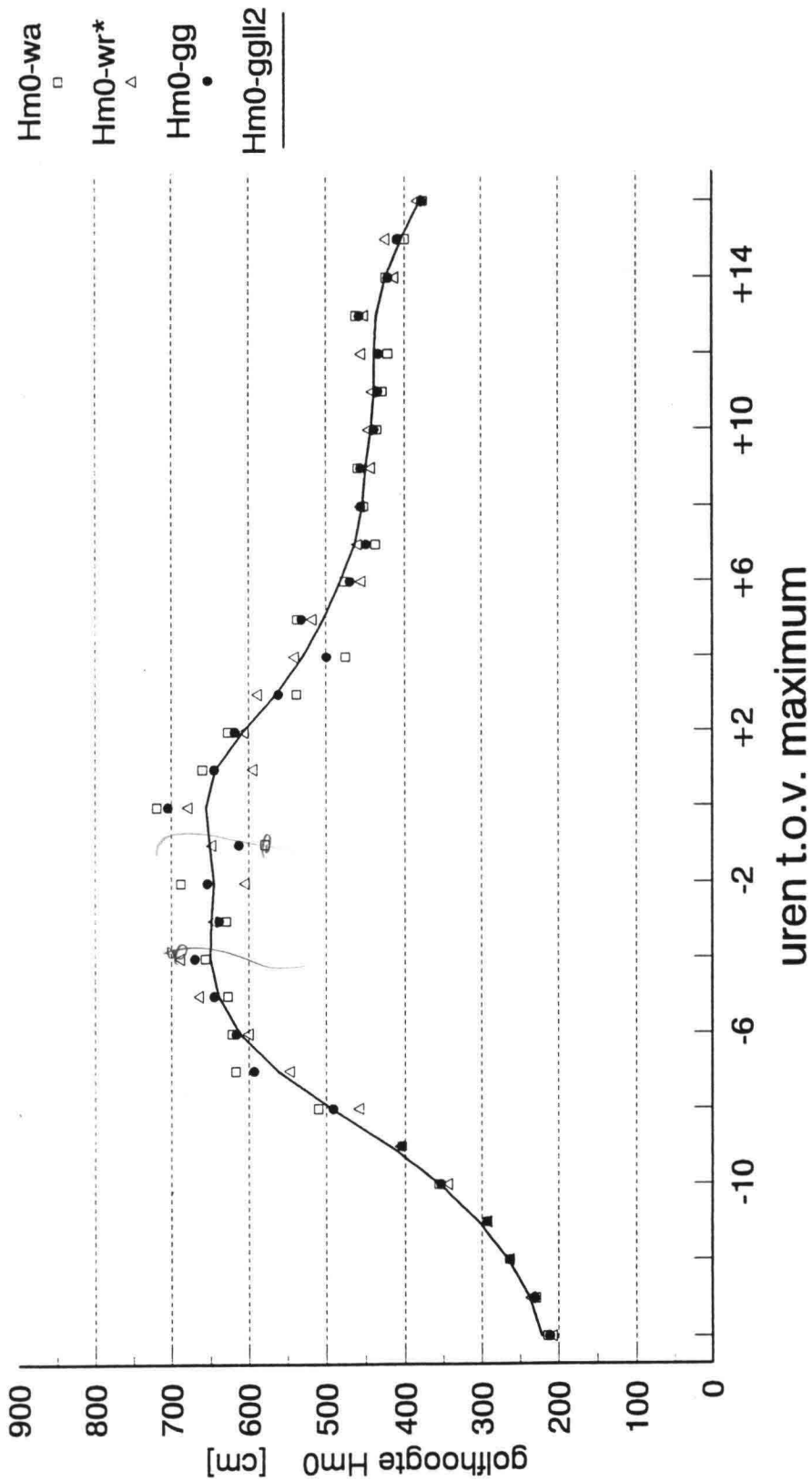
Wind : WNW ; 20 m/s



Gemiddeld verloop en spreiding golfhoogte Hm0

Storm 1 : 25/26 januari 1990

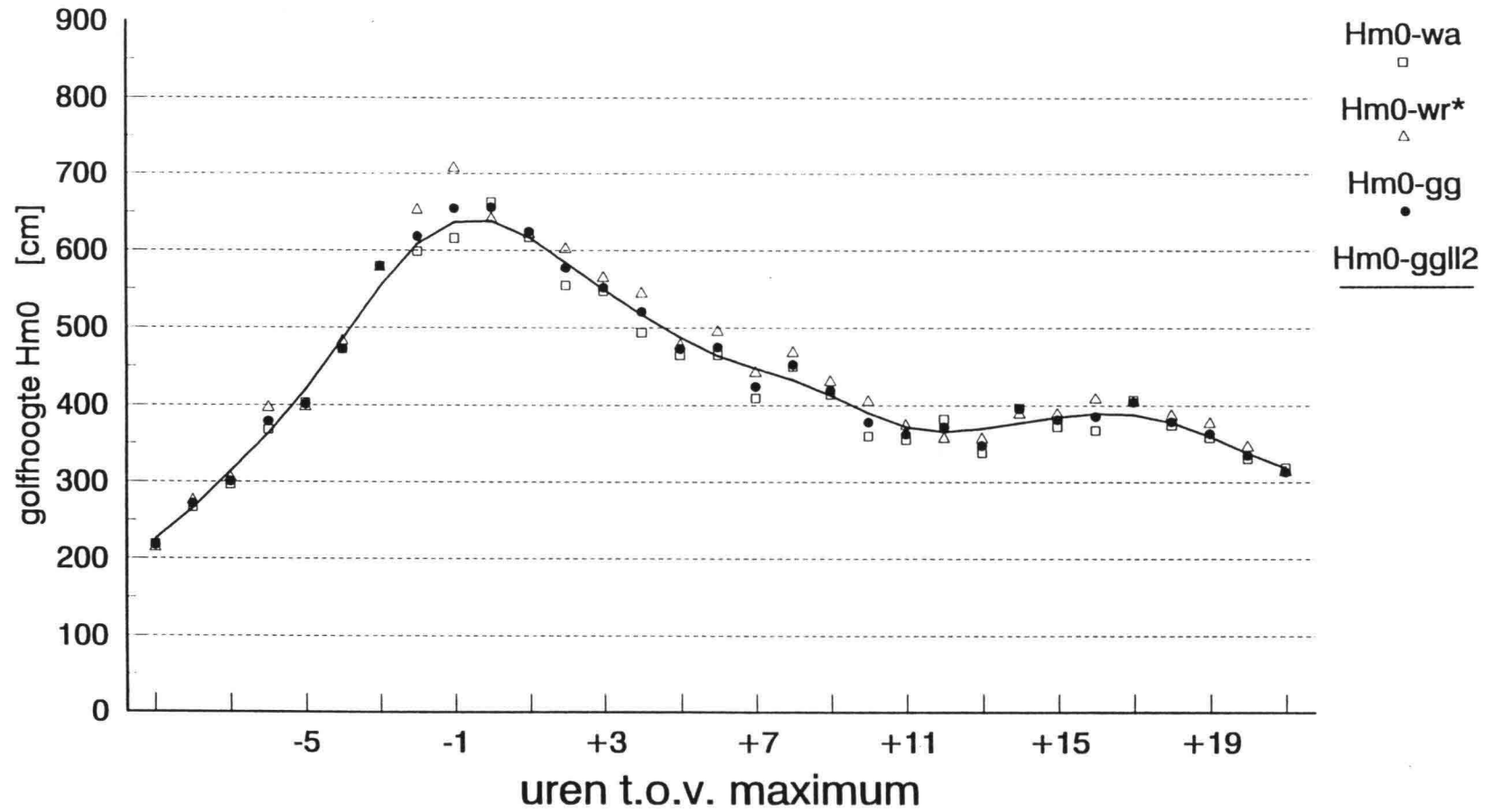
Station : YM6



Gemiddeld verloop en spreiding golfhoogte Hm0

Storm 1 : 25/26 januari 1990

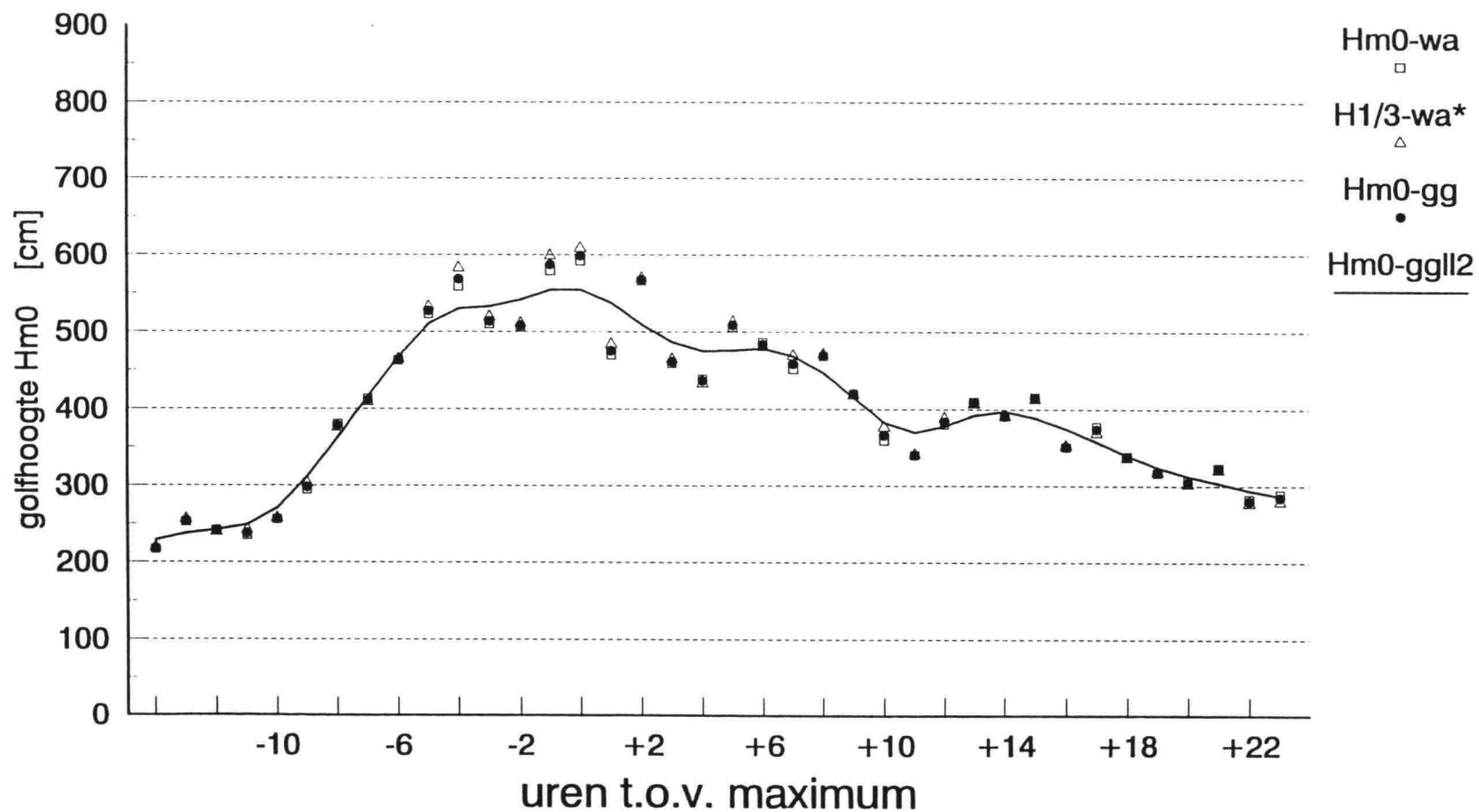
Station : EUR



Gemiddeld verloop en spreiding golfhoogte Hm0

Storm 2 : 18/19 november 1990

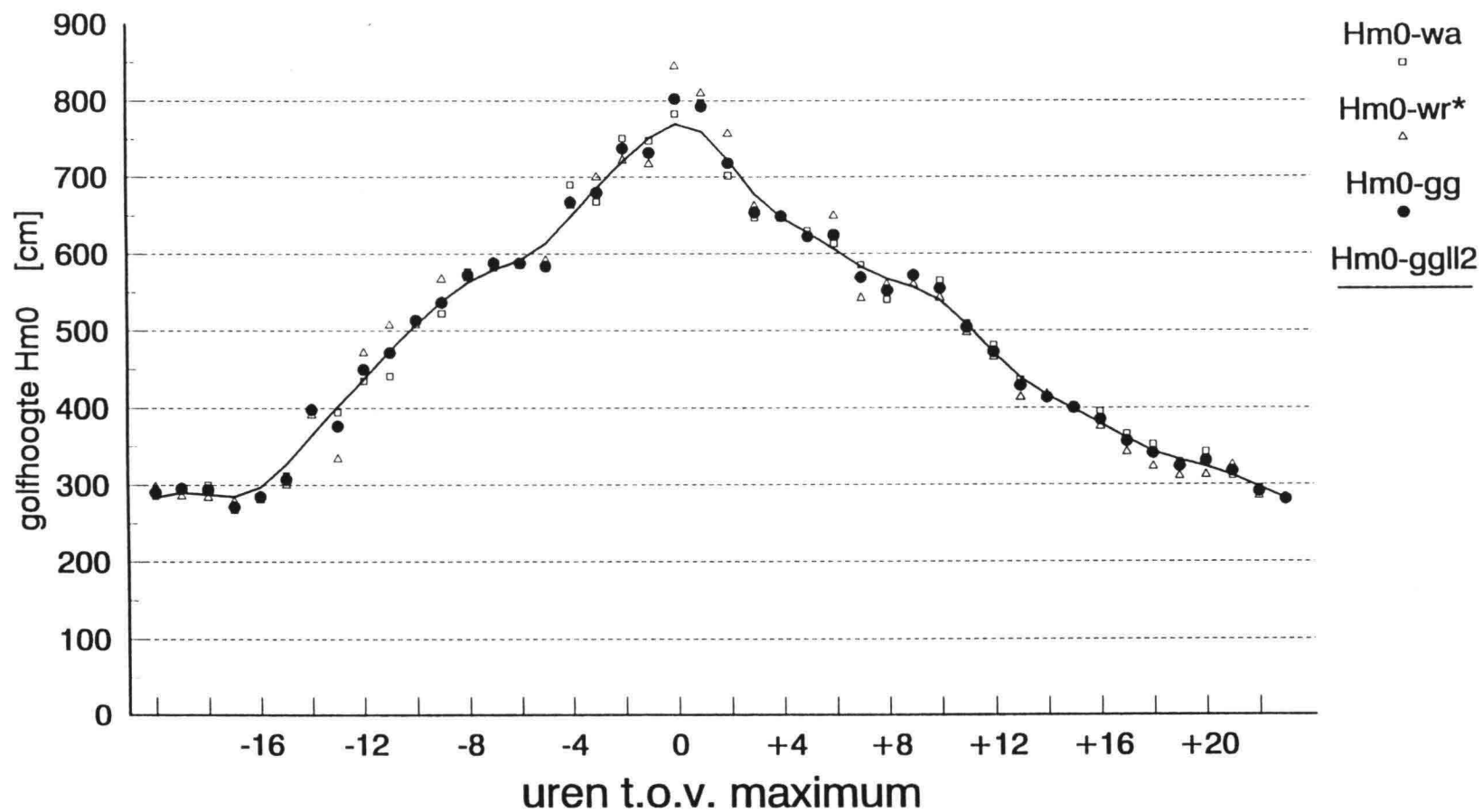
Station : SON



Gemiddeld verloop en spreiding golfhoogte Hm0

Storm 3 : 11/13 december 1990

Station : K13



Gemiddeld verloop en spreiding golfhoogte Hm0

Storm 3 : 11/13 december 1990

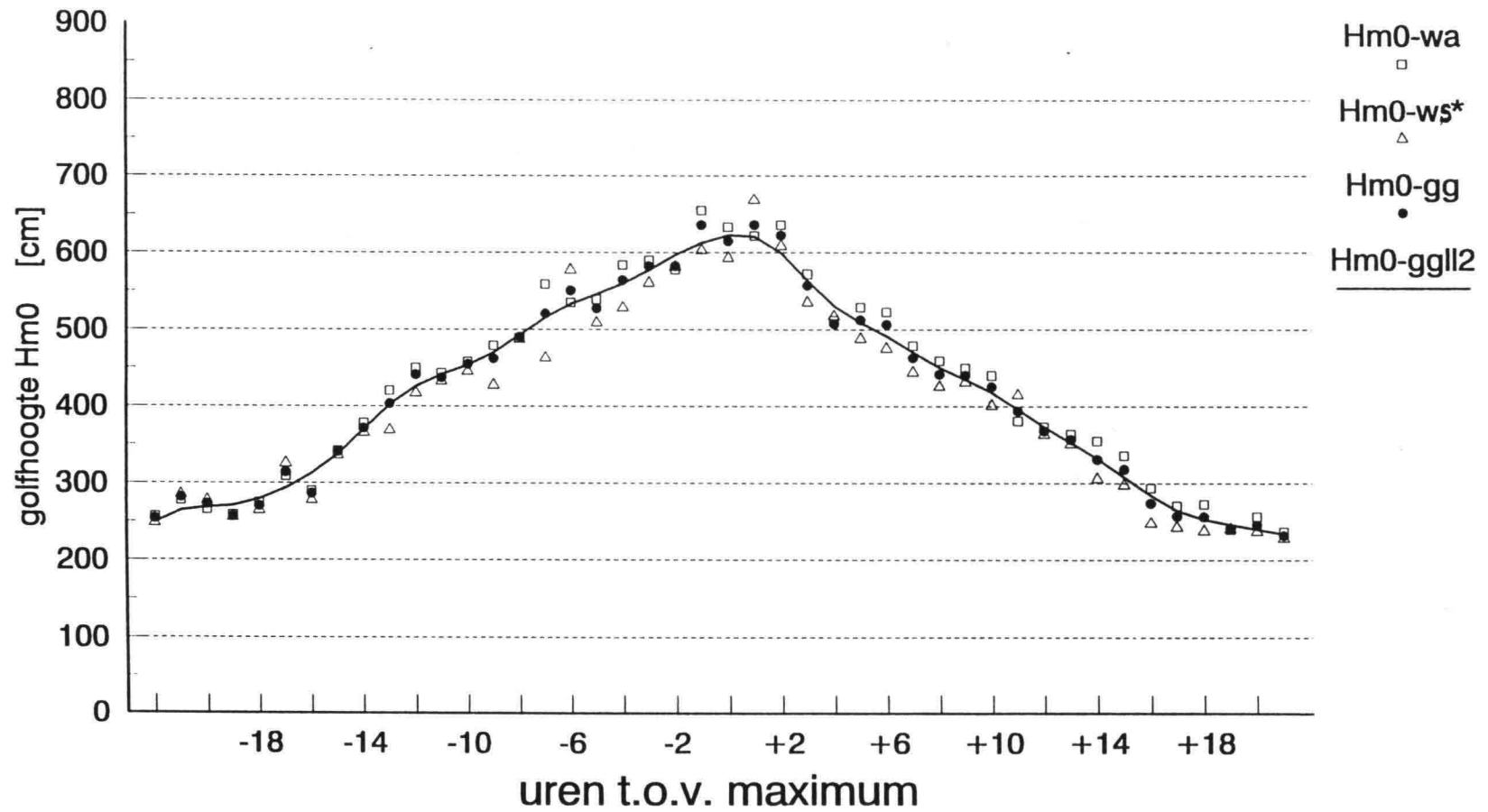
Station : YM6



Gemiddeld verloop en spreiding golfhoogte Hm0

Storm 3 : 11/13 december 1990

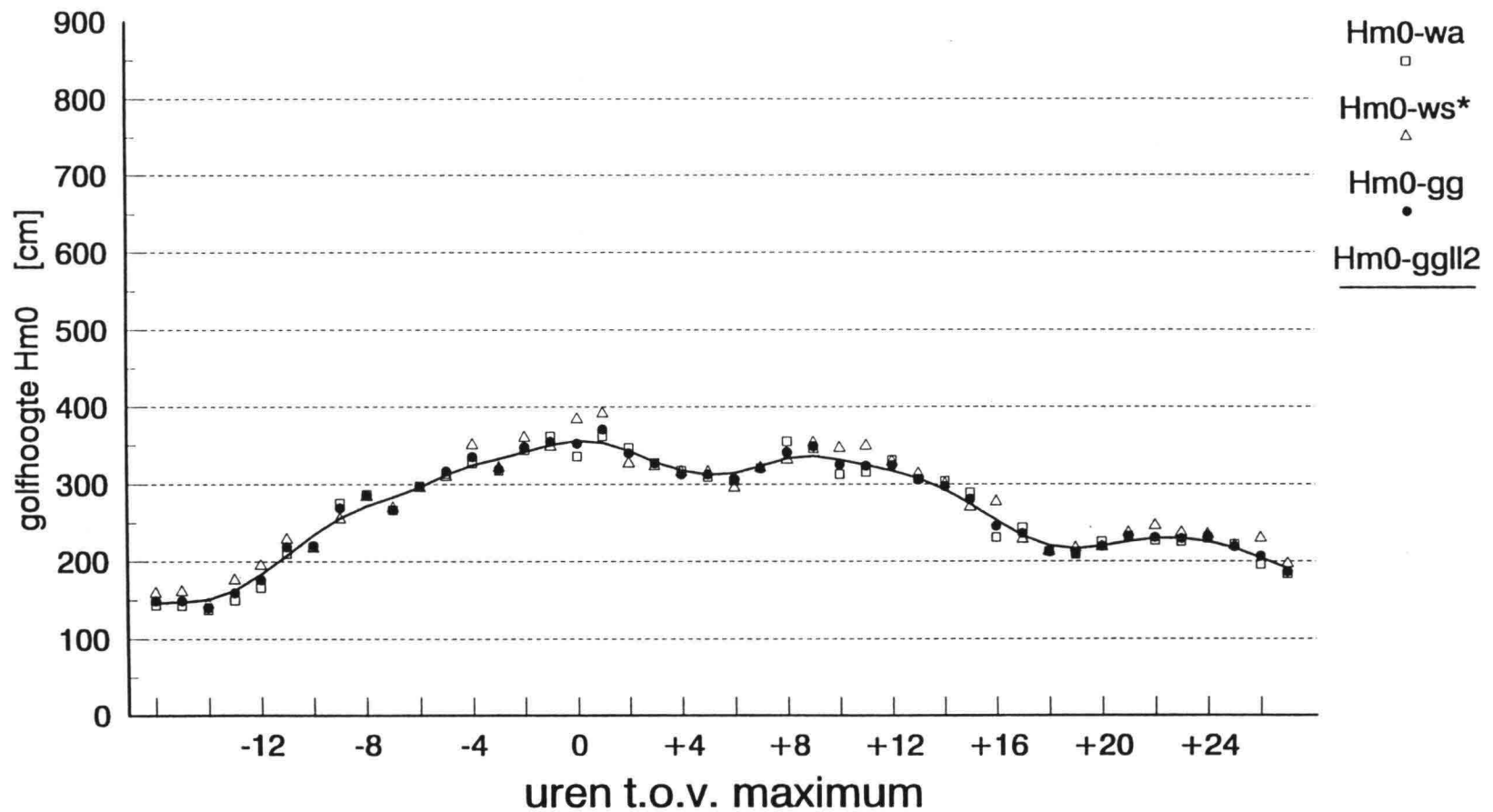
Station : EUR



Gemiddeld verloop en spreiding golfhoogte Hm0

Storm 4 : 16/18 april 1991

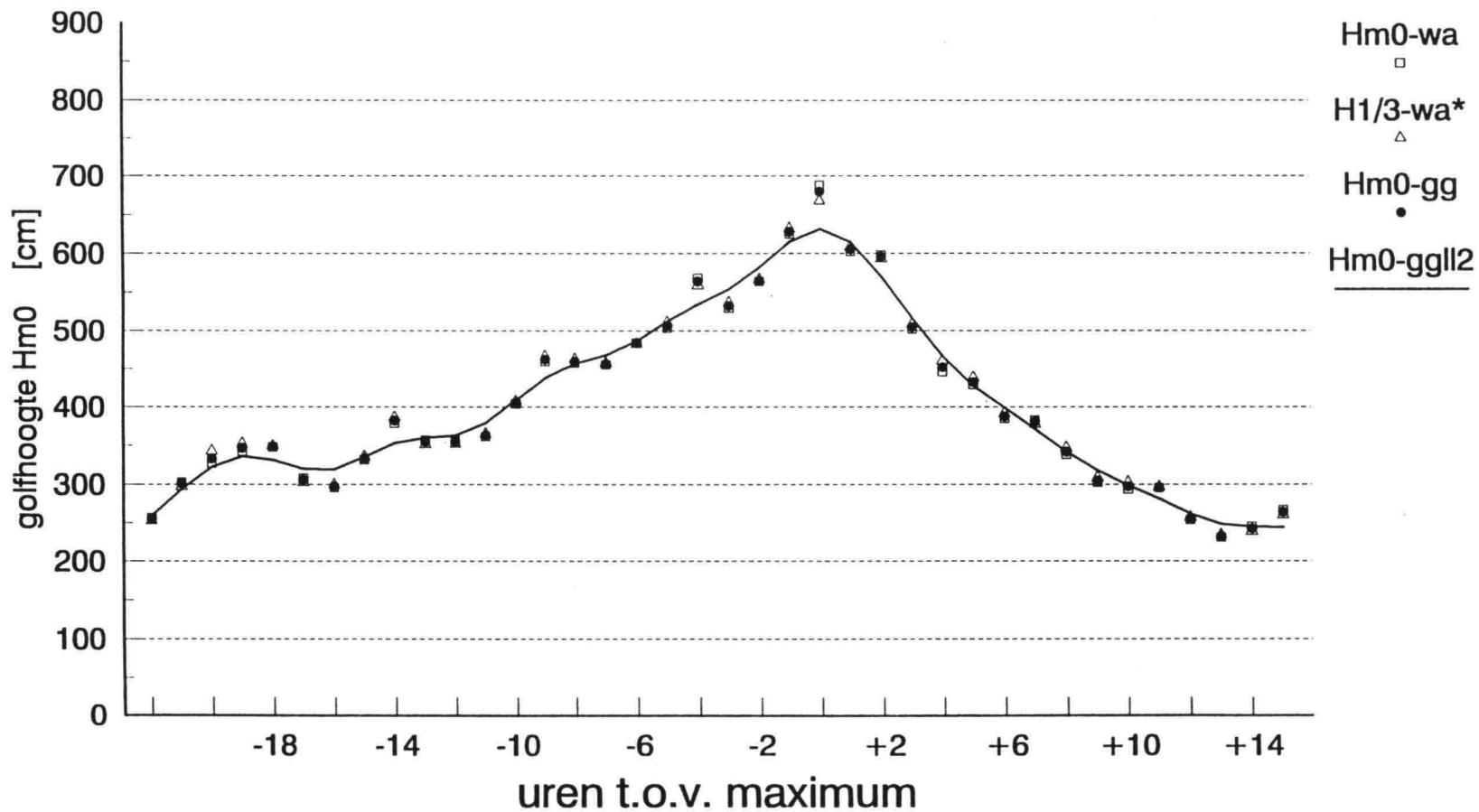
Station : MPN



Gemiddeld verloop en spreiding golfhoogte Hm0

Storm 5 : 1/2 oktober 1991

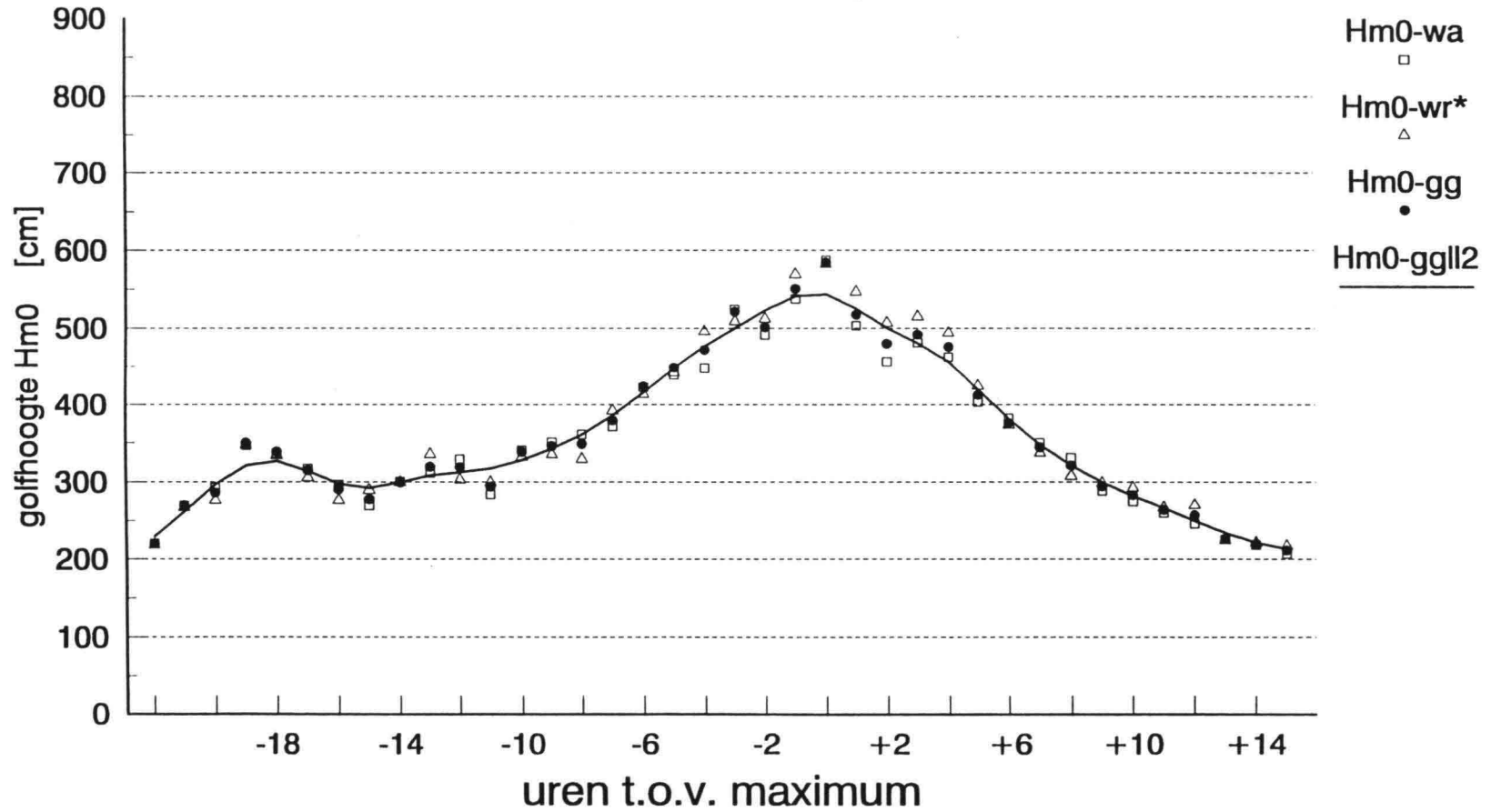
Station : ELD



Gemiddeld verloop en spreiding golfhoogte Hm0

Storm 5 : 1/2 oktober 1991

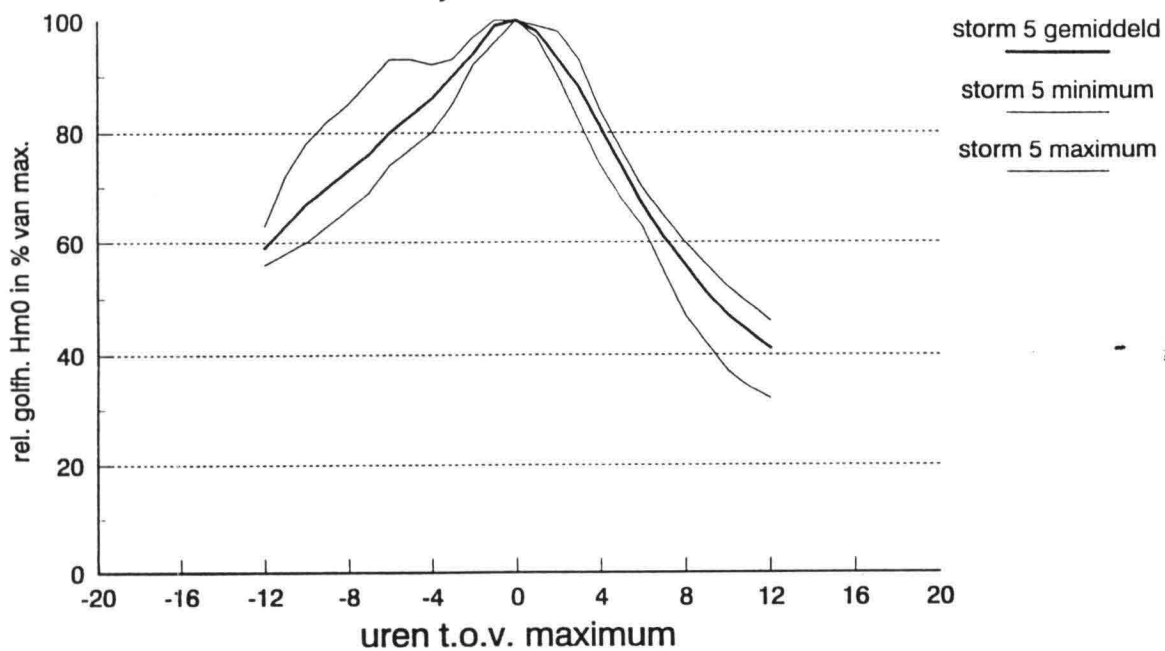
Station : YM6,



Aanvullende gegevens over de weers- en golf-omstandigheden tijdens de maxima van de vijf stormen bij de vijf meetstations.

station	storm nr	tijdens het maximum van het verloop van de golfhoogte							
		datum	tijd gmt	Hm0 cm	Tm02 sec	golf rich gr	wind rich gr	wind snel m/s	water- stand cm MSL
SON	1	900125	20	-	-	-	235	25	+180
K13	1	900125	21	675	8,0	-	250	26	+55
YM6	1	900125	22	655	8,4	250	250	24	+95
MPN	1	900125	19	570	8,0	256	255	26	+135
EUR	1	900125	17	640	8,0	240	230	27	0
SON	2	901118	16	555	8,2	301	280	19	-15
K13	2	901118	14	505	7,4	299	285	19	0
YM6	2	901118	14	445	7,0	-	280	18	+115
MPN	2	901118	14	435	6,6	292	290	17	+150
EUR	2	901118	15	425	6,5	293	270	17	+135
SON	3	901212	16	770	10,0	331	310	18	+240
K13	3	901212	19	770	9,5	348	340	21	+130
YM6	3	901212	23	670	9,5	341	360	16	+155
MPN	3	901212	19	590	8,8	317	340	19	+140
EUR	3	901212	21	625	8,2	341	330	18	+200
SON	4	910417	01	540	8,7	341	-	-	+45
K13	4	910417	05	605	9,4	362	360	14	+40
YM6	4	910417	08	465	7,9	345	370	13	0
MPN	4	910417	00	355	6,7	330	360	17	+5
EUR	4	910417	09	380	6,8	354	350	14	-55
ELD	5	911002	03	630	8,4	304	-	-	+210
K13	5	911002	02	545	7,5	305	290	20	+175
YM6	5	911002	03	545	7,6	295	280	20	+75
MPN	5	911002	05	400	7,1	-	305	17	+80
EUR	5	911002	04	450	6,6	300	290	17	+80

gemiddelde en spreiding tijdens storm 5
verloop relatieve golfhoogte t.o.v. maximum
tijd in uren t.o.v. maximum



gemiddelde en spreiding tijdens storm 4
verloop relatieve golfhoogte t.o.v. maximum
tijd in uren t.o.v. maximum

